7Р

УДК 004.08, 681.3

К.А. Ручкин, А.В. Данилов
Государственный университет информатики и искусственного интеллекта,
г. Донецк, Украина
c_ruchkin@mail.ru

Разработка многоагентной системы для прогнозирования поведения динамической системы в режиме реального времени

В работе рассматривается возможность применения многоагентного подхода для моделирования и исследования свойств динамических систем. Предлагается модель многоагентной экспертной системы реального времени, которая позволяет эффективно автоматизировать процесс исследования и прогнозирования поведения некоторой динамической системы в режиме реального времени.

Введение

Исследование динамических систем представляет собой обширное поле задач математики и механики, которые находят применение в различных областях современной науки и техники. В настоящее время в этой области активно используются компьютерные информационные и вычислительные технологии, что позволяет создавать универсальные высокоэффективные средства графического моделирования и глобального анализа динамических систем.

Задача моделирования движения твердого тела вокруг неподвижной точки является частным случаем исследования динамических систем. Эта классическая задача механики представляет большую теоретическую и практическую значимость для современного технического общества [1]. В настоящее время с этим направлением тесно связано множество научно-технических задач: проектирование манипуляторов роботов, установление устойчивого полета снаряда или ракеты, создание точных навигационных приборов и т.д.

В данной работе исследуется возможность использования многоагентного подхода для решения задач исследования динамических систем, в частности задачи исследования характера движения тела с неподвижной точкой.

В настоящее время разработка многоагентных систем (МАС) является одним из наиболее важных и перспективных направлений развития компьютерных информационных технологий, в особенности в области экспертных систем и искусственного интеллекта. МАС используются в таких областях, как распределенное решение сложных задач (и эффективное решение распределенных задач), реинжиниринг бизнеса и построение виртуальных предприятий, имитационное моделирование интегрированных производственных систем, электронная коммерция, логистика, организация работы коллективов роботов [2].

Современный интерес к многоагентным технологиям обусловлен прежде всего достижениями в области информационных технологий, искусственного интеллекта,

распределенных информационных систем, компьютерных сетей и в компьютерной технике [3]. МАС имеют реальную возможность интегрировать в себе самые передовые достижения перечисленных областей, демонстрируя принципиально новые качества.

Таким образом, использование многоагентного подхода представляет большой интерес для задачи моделирования поведения динамических систем. Благодаря использованию МАС в данной области можно добиться качественно новых результатов и значительного повышения общей эффективности исследований.

1 Постановка задачи

Основой для решения задачи моделирования поведения динамических систем в данной работе является система моделирования Modeler [1], которая предоставляет возможность визуального моделирования и исследования характера движения твердого тела с неподвижной точкой.

Система Modeler имеет следующие функции:

1) визуализация движения твердого тела;

2) визуализация сечений Пуанкаре на сфере Пуассона и отображение их на плоскости и в пространстве;

3) построение огибающих поверхностей;

4) настройка статических и динамических параметров модели.

Входными параметрами системы являются статические и динамические параметры твердого тела, определяющие систему дифференциальных уравнений. Для исследования характера движения тела пользователь задает начальные точки расчета траекторий на сфере Пуассона и анализирует полученный визуальный результат.

Траектории вычисляются с помощью метода Рунге-Кутта и в режиме реального времени отображаются на четырех графических представлениях модели: внешней и внутренней секциях (двумерные изображения), сфере и поверхности (трехмерные изображения). Процесс расчета и отображения траекторий является поступательным и может продолжаться неопределенное количество времени в зависимости от статических и динамических параметров модели.

Для исследования текущей просчитываемой траектории пользователь может наблюдать за ее построением на одном или нескольких графических представлениях модели. Как только становится возможным достаточно точно установить характер траектории, ее просчет можно прекратить.

Начальную точку новой траектории имеет смысл выбирать на основе расположения просчитанных ранее траекторий. Этот процесс продолжается до тех пор, пока на модели не будут найдены все основные траектории (т.е. пока не будет ясен общий характер движения исследуемого тела).

Целью данной работы является разработка модели системы для исследования характера движения тела с неподвижной точкой в режиме реального времени, реализующей следующие функции:

1) автоматическое нахождение хаотических траекторий на заданной модели;

2) распознавание траекторий в режиме реального времени и регулирование времени их просчета;

3) динамическая оптимизация процесса исследования;

4) минимизация ошибок расчета и распознавания;

5) стохастический анализ модели;

6) формирование базы знаний, содержащей характеристику найденных траекторий и модели в целом;

7) динамическое интеллектуальное корректирование хода исследования.

2 Обоснование выбора метода решения

Процесс исследования движения твердого тела с неподвижной точкой имеет несколько ключевых особенностей, влияющих на выбор подхода к автоматизации данной задачи.

Во-первых, процесс нахождения траекторий является поступательным, то есть в ходе работы постоянно появляются новые данные. Таким образом, исследование ведется с динамическими данными в режиме реального времени.

Во-вторых, распознавание траекторий может происходить по нескольким графическим представлениям модели: внутренней секции, внешней секции, сфере и поверхности. Каждое из этих представлений может давать различную информацию о некоторой траектории и модели в целом, что подразумевает разбиение общей задачи исследования на несколько подзадач.

В-третьих, процесс исследования нуждается в постоянной интеллектуальной корректировке. Начальную точку просчета новой траектории следует выбирать на основе ранее найденных траекторий, просчет траектории необходимо вовремя останавливать во избежание работы системы «вхолостую» и накопления ошибки. Таким образом, система для проведения исследования должна обладать достаточно высоким уровнем интеллектуальности.

Все указанные особенности способствуют выбору многоагентного подхода для решения рассматриваемой задачи. Данный подход позволит эффективно распределить процесс исследования между несколькими агентами, а также обеспечить гибкость, адаптивность и надежность итогового программного решения.

3 Архитектура экспертной МАС реального времени

Чтобы выделить типовую архитектуру экспертной многоагентной системы реального времени, рассмотрим несколько примеров: биоинформационную систему CASSIOPE, система распознавания AgentSketch и МАС для биометрической идентификации.

CASSIOPE (Clever Agent System for Synteny Inheritance and Other Phenomena in Evolution) – это биоинформационная мультиагентная система для поиска консервативных цепочек в геномах, разработанная В. Расколом, А. Левассьером, О. Чабролом, С. Грузэ, Е. Данчином и П. Понтаротти [4]. Данная МАС позволяет автоматически идентифицировать консервативные цепочки среди множества данных геномов на основе филогенетических методов и статистического оценивания значимости этих цепочек. Это дает возможность получить новые знания о биологических механизмах эволюции геномов.

CASSIOPE состоит из четырех агентов (рис. 1): экспертной системы (Expert System), агента построения деревьев (Tree Agent), агента базы данных (Database Agent) и Web-агента (Web Agent). Экспертная система координирует работу МАС в целом, а остальные агенты предназначены для независимого выполнения специфических задач.

Экспертная система является центральным агентом в системе; она определяет, какие из цепочек генома являются в достаточной степени консервативными. Этот агент получает запросы от пользователя и пытается найти необходимую информацию в базе данных. Если нужная информация оказывается недоступной, неполной или устаревшей, экспертная система формирует вопрос другим агентам системы. После

выполнения работы агент уведомляет пользователя о полученных результатах по электронной почте, а также создает отчет о последовательности действий, потребовавшейся для решения задачи.

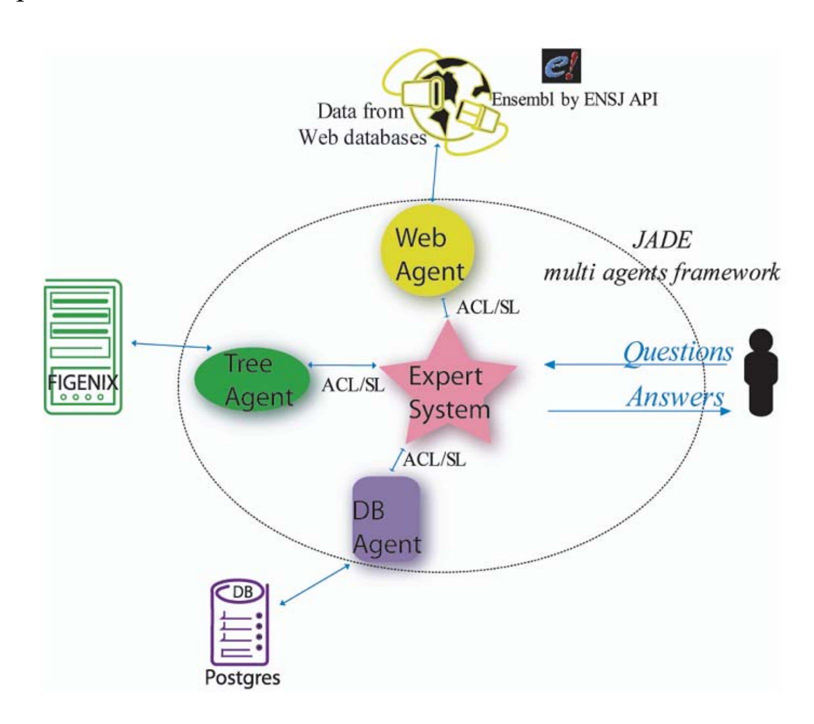


Рисунок 1 – Структура МАС CASSIOPE

Агент построения деревьев выполняет построения древовидных топологий протеиновых цепочек. Полученные филогенетические деревья используются для выявления новых генетических закономерностей. Агент построения деревьев связан с системой филогенетического анализа FIGENIX.

Агент базы данных является посредником между экспертной системой и локальной базой данных PostgreSQL. При поиске информации экспертная система делает запрос агенту базы данных для определения, есть ли соответствующая информация в базе и не устарели ли она.

Web-агент предназначен для поиска информации в удаленных источниках в сети Интернет. На данный момент он поддерживает использование базы геномов Ensembl.

AgentSketch – мультиагентная система для распознавания нарисованных от руки диаграмм в режиме онлайн, разработанная Дж. Каселлой, В. Деуфемией и В. Маскарди [5]. Эта система использует агенты для управления множеством распознавателей символов и повышения эффективности распознавания рисунков благодаря использованию контекстной информации. Она была опробована на диаграммах UML, но может быть использована и для других предметных областей посредством использования распознавателей символов из этих областей.

Данная МАС (рис. 2) состоит из следующих агентов: интерфейсный агент (Interface Agent), агент предобработки входных данных (Input Pre-Processing Agent), агенты распознавания символов (Symbol Recognition Agents) и агент интерпретации рисунка (Sketch Interpretation Agent). На нижнем уровне системы происходит распознавание символов языка предметной области путем применения подходящих распознавателей символов (несколько таких распознавателей может быть задействовано

одновременно). Каждый агент распознавания символов осуществляет координацию деятельности одного распознавателя, а также кооперирует с другими агентами для получения контекстной информации о распознаваемых ими символах. Агент интерпретации рисунка производит распознавание рисунка в целом, разрешая неоднозначности в классификации символов посредством обращения к контексту предметной области.

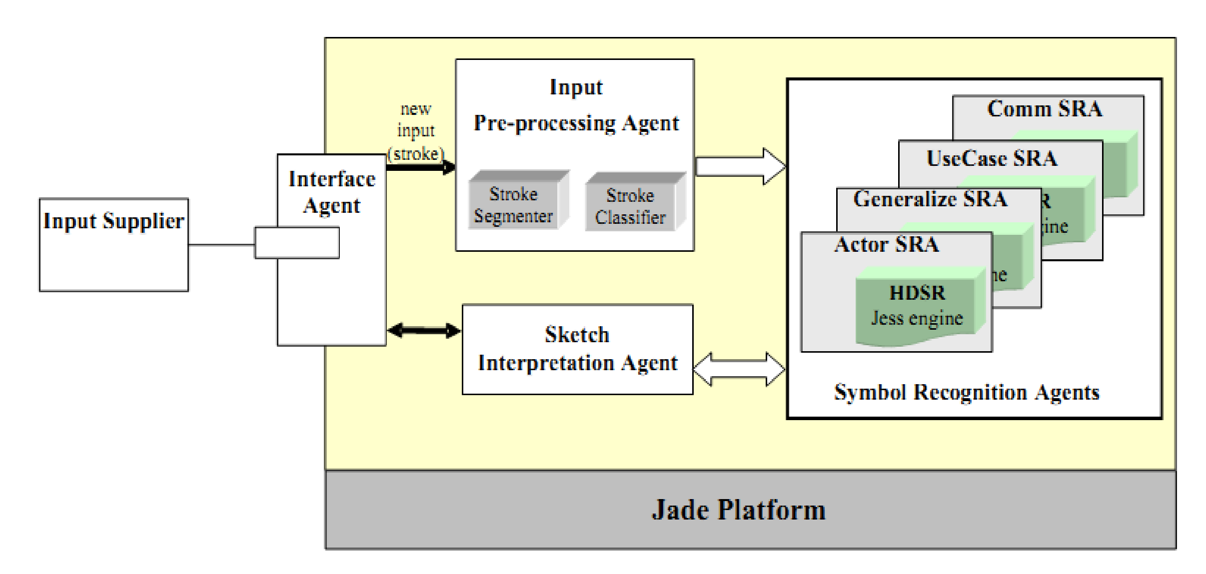


Рисунок 2 – Структура МАС AgentSketch

Интерфейсный агент представляет собой интерфейс между мультиагентной системой и обобщенным источником входных данных (Input Supplier). Природа этого источника может варьироваться в зависимости от типа интерпретируемого рисунка и процесса рисования. Интерфейсный агент ответственен за преобразование входных данных в формат, понимаемый агентом предобработки входных данных и агентом интерпретации рисунка, и наоборот. Каждая новая порция входных данных пересылается агенту предобработки входных данных, а запросы пользователя направляются в агент интерпретации рисунка, результат работы которого затем передается пользователю. Для подключения нового источника входных данных к системе в интерфейсном агенте создается соответствующая этому источнику «заглушка» (stub).

Главной задачей агента предобработки входных данных является систематизация «штрихов» (strokes), производимых пользователем, в независимую от предметной области последовательность примитивных фигур. Этот агент состоит из двух модулей: сегментатор (Stroke Segmenter) и классификатор (Stroke Classifier). Первый модуль разбивает «штрихи» на отдельные примитивы, а второй распознает полученные примитивы как некоторые геометрические фигуры.

Каждый агент распознавания символов (SRA) предназначен для распознавания определенного символа предметной области и взаимодействия с агентом интерпретации рисунка. Также агенты этого типа могут сотрудничать друг с другом, если графический язык рисунка позволяет обращаться к контекстной информации для интерпретации отдельного символа. В таком случае агенты могут применять общее контекстное знание в процессе распознавания собственных символов. Каждый SRA пытается распознать символ предметной области, применяя подходящий распознаватель символов к классифицированным «штрихам», полученным от агента предобработки входных данных.

Как только завершается распознавание нового символа, соответствующий SRA начинает процесс сотрудничества с другими SRA для получения контекстной информации. Процесс заключается в посылке запроса с описанием распознанного символа всем SRA, занимающимся распознаванием связанных символов. SRA, получивший такой запрос, проверяет множество распознанных им символов для формирования ответа. Если среди этого множества есть символ, имеющий некоторую языковую связь с символом в запросе, SRA посылает позитивный ответ, иначе – негативный. Таким образом, становится возможным использование особенностей языка рисунка в процессе распознавания.

Агент интерпретации рисунка выполняет распознавание всего рисунка либо той его части, которая доступна на данный момент. Он анализирует информацию, полученную от всех SRA, разрешает возможные неоднозначности, а затем предоставляет итоговую информацию пользователю через интерфейсный агент.

Неоднозначность может возникнуть, если один «штрих» имеет неоднозначную классификацию как фигура (из-за неаккуратности рисунка), либо в случае использования одного и того же «штриха» несколькими SRA для распознавания разных символов. Используя информацию SRA о распознанных символах, агент интерпретации рисунка разрешает такие конфликты начиная со случаев с наименьшей вероятностью ошибки. После разрешения конфликта информация о соответствующем символе используется далее для разрешения остальных конфликтов. Процесс продолжается до тех пор, пока все конфликты не будут разрешены.

Также агент интерпретации рисунка выполняет «отсечение» символов, которые не были правильно распознаны. Для этого он связывается с соответствующими SRA и дает указание исключить эти символы из дальнейшего процесса распознавания. Эта процедура позволяет ускорить весь процесс интерпретации рисунка.

МАС для распределенного распознавания лиц была разработана Г. Саламой, А. Фахми и М. Эльбаром [6]. Эта модель позволяет как увеличить точность распознавания лиц за счет применения нескольких агентов-классификаторов, так и сократить время обработки данных благодаря распределенной архитектуре. Для распознавания в МАС используются методы ближайшего соседа (NN), k ближайших соседей (K-NN) и классификационных деревьев (CART). Также система может работать в двух режимах: многопоточном и распределенном.

Данная МАС (рис. 3) состоит из следующих агентов: информационный агент (Information Agent), агент предобработки (Preprocessing Agent), головной агент (Headquarter Agent), агент связи (Communication Agent) и агенты-классификаторы (Classifier Agents).

Информационный агент производит чтение и проверку информации о личности из информационной базы данных и сопоставления ее с результатами работы агентов-классификаторов, систематизированными головным агентом.

Агент предобработки ответственен за изменение размера изображения и извлечение векторов DCT- и DWT-признаков (дискретное косинусное преобразование и дискретное вейвлет-преобразование), которые необходимы для работы агентов-классификаторов.

Агенты-классификаторы осуществляют сопоставление изображения распознаваемого лица с изображением, хранящимся в информационной базе данных. В системе имеются три агента этого типа, реализующие методы распознавания NN, K-NN и CART.

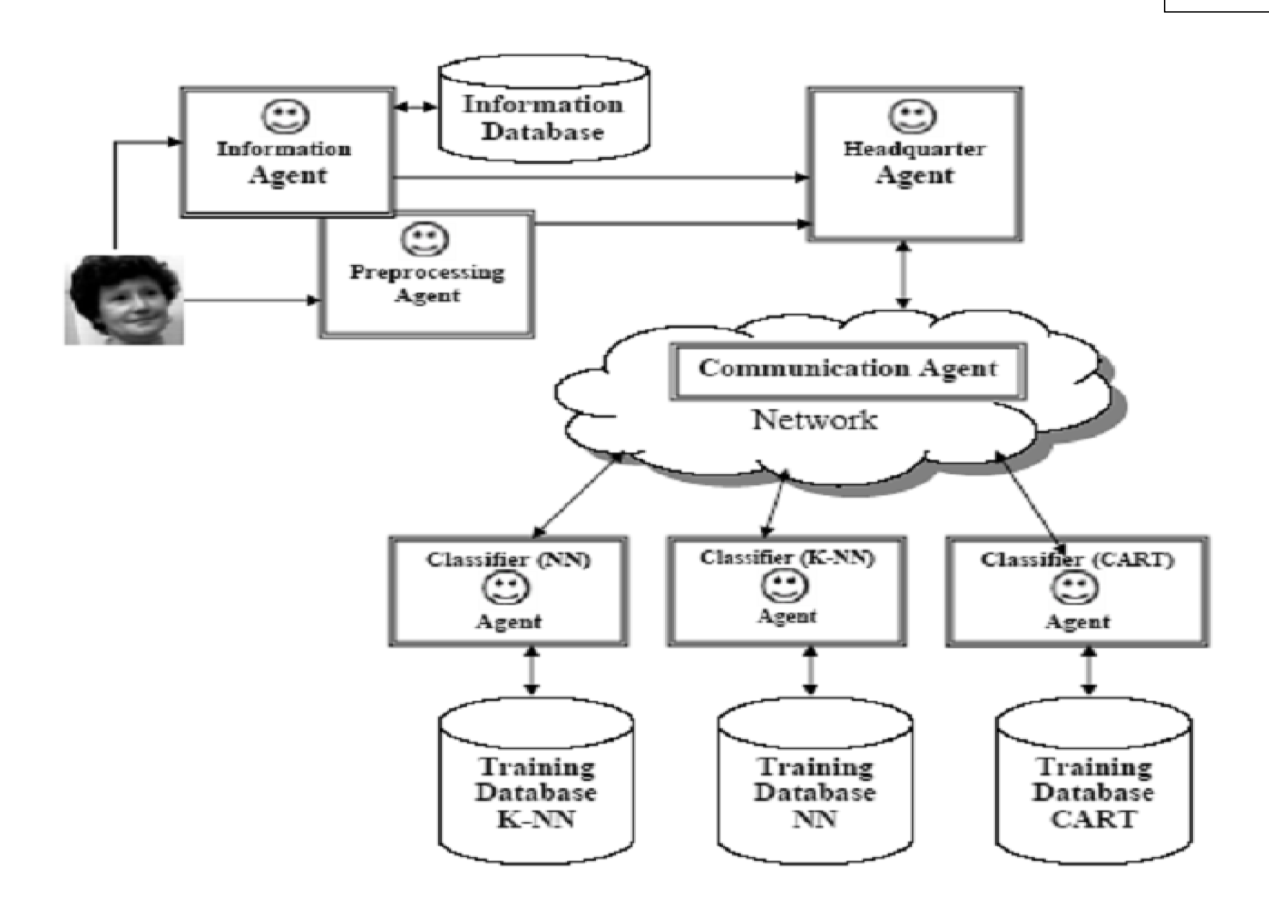


Рисунок 3 – Структура МАС для распознавания лиц

Головной агент является центральным агентом в системе, управляющим агентами-классификаторами. Он ответственен за сбор результатов работы агентов-классификаторов и принятие на их основе решения о выполнении системой некоторого действия.

Агент связи ответственен за обеспечение коммуникации по сети между агентами-классификаторами (клиентами) и головным агентом (сервером) посредством сообщений ACL. Также этот агент позволяет получить удаленный доступ к системе путем подключения некоторого устройства ввода/вывода к серверной части системы.

Перед использованием данная МАС должна пройти процесс обучения. Для каждого отдельного лица обучение проводится в три этапа: предобработка, выделение признаков изображения и заполнение базы данных.

Процесс распознавания лица также включает в себя три этапа: предобработку, выделение признаков и классификацию. Первые два этапа выполняются таким же образом, как и в процессе обучения.

На первом этапе распознавания происходит чтение информации о личности и проверка ее с той информацией, которая была накоплена в процессе обучения.

Второй этап начинается с захвата изображения, его предобработки (для обеспечения соответствия требованиям системы) и выделения двух векторов для DCT- и DTW-признаков. Далее агент предобработки информирует агенты-классификаторы об инициации распознавания, и те начинают процесс сопоставления изображений, переключаясь между DCT- и DTW-признаками в зависимости от степени уверенности в наличии совпадения.

На этапе классификации каждый агент-классификатор информирует головного агента о полученном результате, и происходит процесс принятия решения относительно распознаваемого изображения. Если результат работы первых двух агентов-классификаторов совпадает с результатами из информационной базы данных, работа третьего агента останавливается, и решение принимается на основе имеющихся двух результатов. Если результаты первых двух агентов отличаются от информации в базе данных, то решение принимается по результату третьего агента.

По итогам мажоритарного голосования агентов-классификаторов изображение лица классифицируется как «знакомое» или «незнакомое». В последнем случае оно может быть добавлено в базу данных для дальнейшего использования.

Типовая архитектура экспертной многоагентной системы может быть сформирована на основе рассмотренных выше примеров. Так, все три МАС построены на основе модели распределенного искусственного интеллекта: общая задача системы разбивается агентом-субординатором на подзадачи, далее каждая подзадача выполняется соответствующим агентом-исполнителем, а затем на основе полученных частных результатов агент-интегратор формирует общий результат работы.

Во всех рассмотренных примерах роль субординатора и интегратора совмещает в себе единый управляющий агент; таким образом, управление общим ходом работы системы осуществляется централизованно. В CASSIOPE этим агентом является экспертная система, в AgentSketch – агент интерпретации рисунка, в МАС для распознавания лиц – головной агент. Несмотря на наличие такого агента в системе, остальные агенты функционируют в достаточной степени самостоятельно, так как управляющий агент воздействует на них преимущественно косвенным путем – через сообщения.

Агенты-исполнители предназначены для решения частных задач, которые возникают в процессе решения общей задачи системы. Как правило, каждый из таких агентов располагает уникальными данными и/или методами их обработки. В CASSIOPE к агентам-исполнителям относятся: агент построения деревьев, агент базы данных и Web-агент; в AgentSketch – агенты распознавания символов; в МАС для распознавания лиц – агенты-классификаторы. В некоторых случаях агенты-исполнители могут взаимодействовать непосредственно друг с другом для обмена знаниями и коллективного решения собственных задач (как это реализовано в AgentSketch). Общий результат работы определяется на основе интеллектуальной оценки результатов деятельности всех агентов-исполнителей, задействованных для решения текущей задачи.

В типовой архитектуре экспертной МАС можно также выделить интерфейсный агент, предназначенный для пред- и постобработки данных. Такой агент может служить в качестве посредника во взаимодействии МАС с внешней средой (в частности с пользователем). В AgentSketch эту роль выполняет собственно интерфейсный агент, в МАС для распознавания лиц – информационный агент и агент предобработки. В то же время роль интерфейсного агента может быть возложена на управляющего агента (в случае CASSIOPE).

Наконец, характерной чертой экспертной МАС является наличие контекста знаний, накапливаемого и обновляемого в процессе работы системы. Им может служить как некоторая обособленная база знаний (как в CASSIOPE и МАС для распознавания лиц), так и неструктурированное коллективное знание множества агентов системы в данный момент времени (в случае AgentSketch).

4 Разработанная модель многоагентной системы

На основании выделенной типовой архитектуры экспертной многоагентной системы была разработана модель МАС для исследования характера движения тела с неподвижной точкой в режиме реального времени. Спроектированная МАС (рис. 4) состоит из пяти агентов, взаимодействующих с исследуемой моделью и друг с другом: агента-исследователя, агентов Outer, Inner, Sphere и Surface.

Агент-исследователь занимает в системе центральное место, координируя процесс исследования в целом. В терминах модели распределенного ИИ он представляет собой как агент-субординатор, так и агент-интегратор. Агент-исследователь проводит инициализацию и завершение процесса исследования, выбирает начальную точку для расчета новой траектории, проводит стохастический анализ модели и ведет общую базу знаний. В общем этот агент выполняет роль посредника между системой моделирования Modeler и другими агентами МАС.

Агенты Outer, Inner, Sphere и Surface являются агентами-исполнителями. Outer и Inner предназначены для распознавания траекторий на соответственно внешнем и внутреннем сегментах (двумерных представлениях модели), Sphere и Surface выполняют аналогичную задачу на сфере и поверхности (трехмерных представлениях модели). Каждый из этих четырех агентов имеет локальную базу данных для отслеживания и распознавания траекторий – «снимок» (либо набор «снимков») графического представления модели, связанного с данным агентом.

Таким образом, агенты Outer, Inner, Sphere и Surface являются специализированными «распознавателями», на основе коллективной работы которых делается вывод о характере некоторой траектории.

Процесс исследования можно представить следующим образом:

1) пользователь задает модель и параметры исследования, происходит инициализация агентов и их баз данных;

2) агент-исследователь выбирает начальную точку новой траектории с учетом положения ранее найденных траекторий;

3) агент-исследователь проводит расчет n точек текущей траектории и дает сигнал агенту Outer об обновлении изображения;

4) агент Outer проводит попытку распознавания траектории и выдает результат;

5) между всеми активными агентами проходят переговоры, результатами которых может быть задействование нового агента-распознавателя (если результат распознавания неоднозначен), продолжение расчета траектории (если в данный момент вывод о ее характере невозможен или нежелателен) или завершение расчета траектории (если можно сделать вывод о ее характере и/или дальнейший просчет нецелесообразен);

6) если был задействован новый агент, то он проводит попытку распознавания, и переговоры повторяются (пункт 5);

7) если было принято решение о продолжении просчета, то агенты-распознаватели входят в состояние ожидания, а агент-исследователь продолжает расчет точек траектории (пункт 3);

8) если было принято решение о завершении расчета траектории, то агенты-распознаватели обновляют свои базы данных, а агент-исследователь проводит стохастический анализ модели, обновляет базу знаний исследования и продолжает поиск новых траекторий (пункт 2).

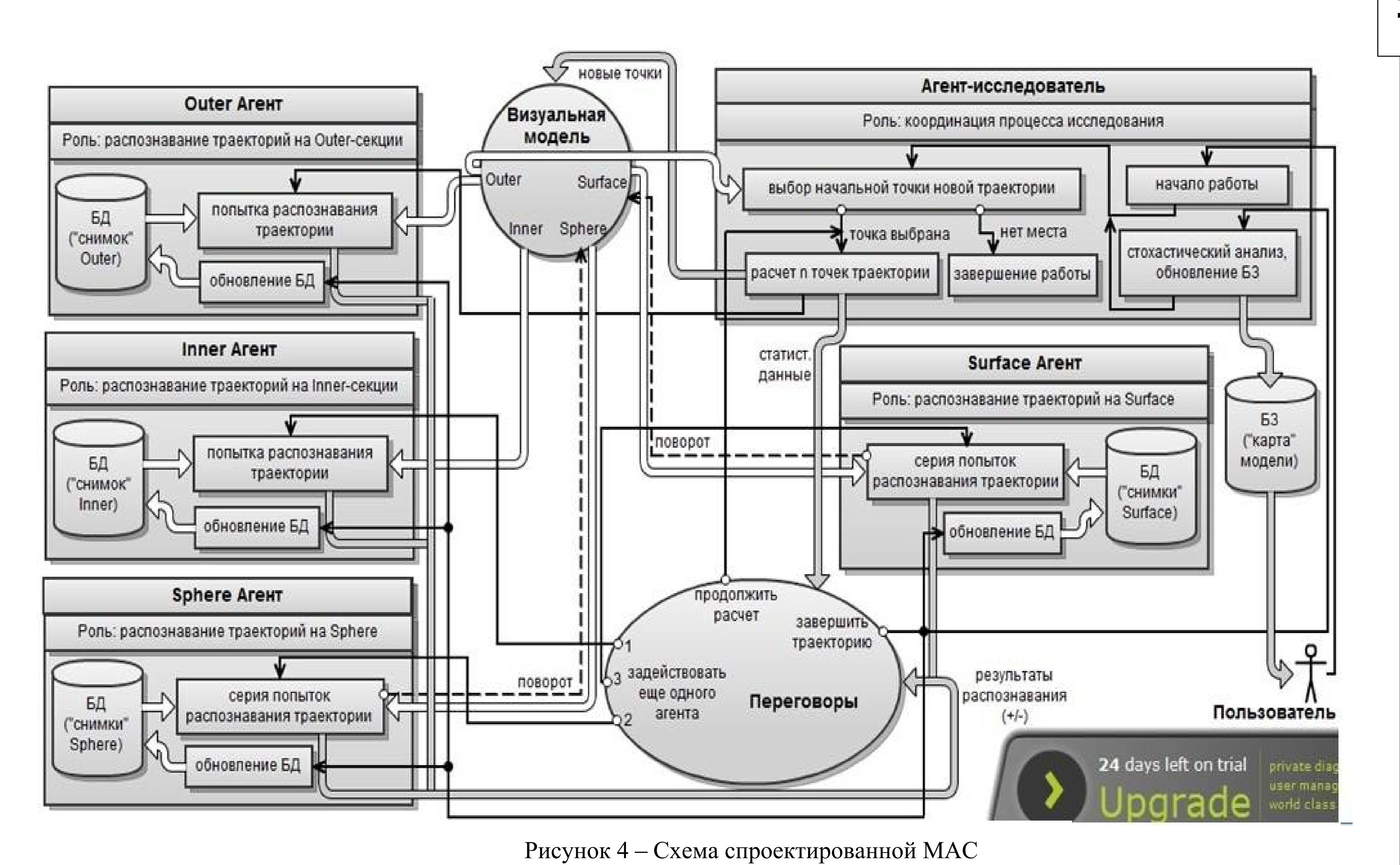


Рисунок 4 – Схема спроектированной МАС

Ключевым моментом работы МАС является распознавание текущей рассчитываемой траектории в режиме реального времени. Анализ траектории может проводиться в течение нескольких итераций ее просчета, что зависит от характера траектории и скорости ее просчета. Для решения данной задачи может быть задействовано от одного до всех четырех агентов-распознавателей, которые сопоставляют изменения в графическом представлении модели и пытаются выделить на ней замкнутую траекторию. Вначале проводится попытка распознавания с помощью только тех агентов, которые анализируют двумерное представление модели (Outer и Inner). Агенты, анализирующие трехмерное представление модели (Sphere и Surface), задействуются только в случае необходимости (при наличии неоднозначности), так как их работа сложнее и требует больших затрат времени.

По результатам работы всех задействованных в данный момент агентов выносится решение о дальнейших действиях системы: продолжении просчета (переход к следующей итерации процесса), завершении построения траектории или подключении дополнительных агентов к процессу распознавания. На принятие данного решения могут влиять такие факторы, как степень согласия агентов по поводу траектории, количество задействованных агентов, количество пройденного времени (с момента начала просчета текущей траектории) и статистические показатели по итогам распознавания предыдущих траекторий.

В общем процесс просчета и распознавания траектории продолжается до тех пор, пока невозможно сделать однозначный и достоверный вывод о ее характере. По завершению этого процесса происходит обновление баз данных/знаний агентов и переход к поиску следующей траектории.

Исследование модели завершается, если на ней найдено достаточно траекторий (т.е. графическое представление модели в достаточной степени заполнено траекториями). Результатом работы системы является формируемая агентом-исследователем база знаний – «карта модели», в которой содержится информация о найденных траекториях и общая оценка модели.

Выводы

Применена модель «распределенный искусственный интеллект».

Разработанная модель многоагентной экспертной системы позволяет автоматизировать процесс исследования характера движения твердого тела с неподвижной точкой с использованием системы визуального моделирования Modeler. Также возможна адаптация данной модели для решения иных задач, связанных с моделированием поведения динамических систем.

Полученная МАС обладает следующими достоинствами: проведение исследования в режиме реального времени, эффективное распределение и динамическая оптимизация процесса распознавания траекторий, минимизация ошибок расчета и распознавания. Недостатком решения является достаточно высокая сложность структуры системы и схемы взаимодействия ее компонентов, что в основном обусловлено применением многоагентного подхода. В дальнейшем спроектированная МАС может быть реализована в виде программного продукта и применена для проведения исследований поведения динамических систем.

Литература

1. Ручкин К.А. Методы компьютерного моделирования и анализа решений задач хаотической динамики / К.А. Ручкин // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 175-181.

2. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / Тарасов В.Б. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
3. Городецкий В.И. Многоагентные системы / В.И. Городецкий, М.С. Грушинский, А.В. Хабалов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 2. – С. 6-47.
4. Rascol V. CASSIOPE: An expert system for conserved region searches / V. Rascol, A. Levasseur, O. Chabrol, S. Grusea, P. Gouret, E. Danchin, P. Pontarotti // BMC Bioinformatics 2009. – 2009. – P. 128-135.
5. Casella J. A Multi-Agent System for Hand-drown Diagram Recognition / J. Casella, V. Deufemia, V. Mascardi // AAMAS 2007. – 2007. – P. 54-59.
6. Salama G. A Distributed Multi-Agent Model for Face Recognition over Network / G. Salama, A. Fahmy, M. Elbar // ASAT-13. – 2009. – P. 75-92.
7. Vidal J. Fundamentals of Multiagent Systems / Vidal J. – John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 155 с.
8. Wooldridge M. An Introduction to Multiagent Systems / Wooldridge M. – John Wiley & Sons Ltd, 2002. – 368 с.
9. Zarandi M. A Multi-Agent Expert System for Steel Grade Classification Using Adaptive Neuro-fuzzy Systems / M. Zarandi, M. Avazbeigi, M. Anssari, B. Ganji // Expert systems. – 2010. – № 1. – P. 161-180.
10. Тарасов В.Б. Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества / В.Б. Тарасов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 5-63.

Literatura

1. Ruchkin K. A. Iskusstvennyj intellekt. № 4. 2004. S. 175-181.
2. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizacijam: filosofija, psihologija, informatika. M.: Jeditorial URSS. 2002. 352 s.
3. Gorodeckij V. I. Iskusstvennyj intellekt i prinjatie reshenij. № 2. 2009. S. 6-47.
4. Rascol V. BMC Bioinformatics 2009. P. 128-135.
5. Casella J. A AAMAS 2007. P. 54-59.
6. Salama G. ASAT-13. 2009. P. 75-92.
7 Vidal J. Fundamentals of Multiagent Systems. John Wiley & Sons Ltd. 2007. 155 s.
8. Wooldridge M. An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley & Sons Ltd. 2002. 368 s.
9. Zarandi M. Expert systems. № 1. 2010. P. 161-180.
10. Tarasov V. B. Novosti iskusstvennogo intellekta. № 2. 1998. S. 5-63.

К.А. Ручкин, А.В. Данилов

Розробка багатоагентної системи для моделювання поведінки динамічної системи в режимі реального часу

У статті розглядається можливість використання багатоагентного підходу для моделювання та дослідження динамічних систем. Пропонується модель багатоагентної експертної системи реального часу, що дозволяє ефективно автоматизувати процес дослідження характеру руху тіла з нерухомою точкою.

C.A .Ruchkin*, *A.V. Danilov

Development of a Multi-Agent System for Real-Time Modeling of Dynamic System Behavior

The paper examines the possibility of applying multi-agent approach to dynamic systems modeling and research. A model of real-time multi-agent expert system is proposed. It provides the ways for automatic performance of research process and forecasting of a dynamic system in the mode of real time.

Статья поступила в редакцию 22.06.2011.